©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stickstoffdynamik von alpinen Böden

Von E. HAUNOLD und A. GLUDOVATZ

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 3. März 1977 durch das w. M. H. FRANZ)

Mit 10 Tabellen

Mit dem Begriff Stickstoffdynamik werden Umsetzungsvorgänge von Stickstofffraktionen bezeichnet. Diese Umsetzungsvorgänge werden von einer Reihe von Faktoren wie: Wasser, Temperatur, Bodenart, pH, Mikroorganismenbesatz, C: N-Verhältnis etc. beeinflußt.

Als Folge der Umsetzung von organisch gebundenem Stickstoff in mineralischen, der Mineralisation, wird Stickstoff für das Pflanzenwachstum verfügbar. Die Mineralisationsrate von Ackerböden beträgt 1—2% des Gesamt-Boden-N (ZÖTTL, 1968). Im Brutversuch unter Laborbedingungen können höhere Mineralisationsraten erzielt werden. So fand ALDIG (1976) Mineralisationswerte bis zu 9,6%. Hauptlieferanten für den mineralischen Stickstoff waren Amid-N, Aminosäure-N und Aminozucker-N. Als Maß für das Mineralisationsvermögen von Böden wird häufig das C : N-Verhältnis herangezogen. Bei C : N < 25 wird die N-Mineralisation begünstigt, bei C : N > 25 kommt es zu einer Stickstoff-Festlegung im Boden (FINK, 1969).

Die Stickstoffdynamik von Böden wird weiters charakterisiert durch die Prozesse der Zu- und Abfuhr. Auf landwirtschaftlich genutzten Böden erfolgt ein großer Teil der Stickstoffzufuhr über die Düngung, die Abfuhr über das Erntegut oder die Verluste (Auswaschung, gasförmige Abgabe). Nicht gedüngte Böden sind hinsichtlich der Stickstoffzufuhr vor allem auf die biologische Fixierung und die Stickstoffeinwaschung über die Niederschläge angewiesen. Die Stickstoff-Fixierung durch symbiotisch lebende Knöllchenbakterien erreicht in einem Leguminosenbestand bis zu 400 kg N/ha und Jahr, in einem Erlenbestand bis zu 700 kg N/ha und Jahr (BECKING, 1968). Frei im Boden lebende Bakterien vermögen nur 0,1 kg N/ha und Jahr zu binden (HÜSER, 1963, 1965). Die biologische Stickstoff-Fixierung auf der gesamten Erde beträgt nach NUTMAN (1965) 100×10^6 t/a; FRISSL (1976) nennt 140×10^6 t/a.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die N-Zufuhr über die Niederschläge beträgt auf Ackerböden rund 10 kg N/ha und Jahr (HOFFMANN, 1967; FINK, 1969). Der mineralische Anteil des eingewaschenen Stickstoffes wird von RIEHM (1961) mit 3—7 kg N_{min}/ha und Jahr, von HOFFMANN (1967) mit 6,3 kg N_{min}/ha und Jahr und von HÜSER (1971) mit 8 kg N_{min}/ha und Jahr angegeben. Saure Böden vermögen den in der Luft befindlichen Ammoniak (0,001—0,100 mg N/m³) zu absorbieren. RIEHM (1961) schätzt die mögliche N-Einnahme dieser Art auf 4—7 kg N/ha und Jahr.

Zur Bearbeitung der gegenständlichen Frage (HAUNOLD, 1975) wurden Freilandversuche am Standort Wallackhaus (Seehöhe 2307 m, WEISS, 1975) durchgeführt. Es wurde ^{15}N markiertes Ammoniumsulfat eingesetzt. Eine bilanzmäßige Verfolgung des Isotops im System sollte die Erforschung der Stickstoffdynamik des Hochgebirgsbodens ermöglichen.

Methode:

Auf dem Standort wurden vier 1 m² große Parzellen mit der Bezeichnung A, B, C und D ausgewählt, die markierten Stickstoff in Form von $(^{15}NH_4)_2SO_4$ erhielten. Dieser wurde oberflächlich in einer Aufwandmenge von 10 g N/m² ausgebracht, nachdem zuvor der Pflanzenbestand abgeerntet worden war. Nach bestimmten Zeitabständen wurden Boden- und Pflanzenproben entnommen und auf ihren Gehalt an markiertem Stickstoff untersucht. Bestimmt wurden N_t, NH_4-N, NO_3-N, NH_4-N_{fix} und N_{org} sowie der ^{15}N-Gehalt in diesen Fraktionen (BREMNER, 1965). Der Versuchsplan ist in Tabelle 1 enthalten.

Tab. 1: Versuchsplan

Parzelle	Zeitpunkt d. Düngung	Probenahme nach Tagen	
A	11. VIII. 1974	49	322
B	29. VI. 1975	48	78
C	29. VI. 1975	48	78
D	29. VI. 1975	48	78

Ergebnisse:

Stickstoffbilanz der Parzelle A:

Nach 49tägiger Versuchsdauer wurde die in Tabelle 2 dargestellte Stickstoffbilanz erhalten.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 2: Stickstoffbilanz nach 49 Tagen (¼ Versuchsfläche)

N-Verteilung	Dünger N mg	Dünger N %
Pflanze	41,31	1,65
Boden	2097,75	83,91
Verlust	360,94	14,44

Von der aufgebrachten Düngermenge wurde 1,65% in der Pflanze und 83,91% im Boden festgestellt. Der Verlust betrug 14,44%.

Die Verteilung des Gesamtstickstoffs N_t im Profil zeigte von oben nach unten eine starke Abnahme (Tab. 3). Der größte Anteil war in den obersten 3 cm lokalisiert. Diese Schichte bestand hauptsächlich aus dem Wurzelfilz, in den der Stickstoff eingebaut worden war. Er war hier zum größten Teil organisch gebunden; die mineralischen Stickstoff-Formen (NH_4-N und NO_3-N) waren nur in bescheidenem Ausmaße vertreten, das fixierte Ammonium mit insgesamt 12,59%.

Tab. 3: Prozentuelle Verteilung des markierten Stickstoffs im Boden (nach 49 Tagen)

Bodentiefe cm	N_t	NH_4-N	NO_3-N	NH_4-N_{fix}	N_{org}
0— 3	71,87	1,05	0,07	8,66	61,09
3—16	11,07	0,13	0,02	3,52	7,40
16—30	0,85	0,02	—	0,33	0,50
unter 30	0,12	0,01	0,01	0,08	0,02
Σ	83,91	1,21	0,10	12,59	70,01

Nach 322tägiger Versuchsdauer wurde keine wesentliche Veränderung der Stickstoffbilanz (Tab. 4) gegenüber der ersten Probenahme (Tab. 2) festgestellt. Von der ausgebrachten Düngermenge konnte in Boden und Pflanze zusammen 83,93% wiedergefunden werden; der Verlust betrug daher 16,07%.

Tab. 4: Stickstoffbilanz der Parzelle A nach 322 Tagen (¼ Versuchsfläche)

N-Verteilung	Dünger N mg	Dünger N %
Pflanze	93,50	3,74
Boden	2004,75	80,19
Verlust	401,75	16.07

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Auch die Verteilung des ^{15}N auf die Bindungsformen blieb weitgehend konstant. Die bereits nach 49 Tagen erreichte Verteilung ist im wesentlichen gleichgeblieben (Tab. 5).

Tab. 5: Prozentuelle Verteilung des markierten Stickstoffs im Boden (nach 322 Tagen)

Bodentiefe cm	N_t	NH_4-N	NO_3-N	NH_4-N_{fix}	N_{org}
0— 3	71,26	1,26	0,11	5,53	64,36
3—16	7,11	0,12	0,04	1,25	5,70
16—30	1,17	0,10	0,02	0,04	1,01
unter 30	0,65	—	—	0,04	0,61
Σ	80,19	1,48	0,17	6,86	71,68

Stickstoffbilanzen der Parzellen B, C und D:

Nach 48tägiger Versuchsdauer betrug die in den Pflanzen wiedergefundene Düngermenge zwischen 5,97 und 20,58% (Tab. 6).

Tab. 6: Stickstoffbilanz der Parzellen B, C und D nach 48 Tagen. Verteilung in %.

N-Verteilung	B	C	D
Pflanze	5,97	20,58	16,75
Boden	56,82	66,76	84,67
Verlust	37,21	12,66	+1,42

Der niedrige Wert von Parzelle B erklärt sich aus dem ungünstigen Pflanzenbestand, der sich hier hauptsächlich aus zwergstrauchartigen Pflanzen zusammensetzte, die nur langsames Wachstum zeigten. Der Gehalt des Bodens an Dünger-N lag zwischen 56,82 und 84,67%. Einigermaßen überraschend mutet das Ergebnis für den „Verlust" der Parzelle D an; hier schien ein Gewinn von 1,42% auf. Dieser Wert wurde aus einer Probenahme erzielt, die vom 1. Viertel der Parzelle D stammte. Dieses Viertel befand sich zuunterst einer am Berghang liegenden Fläche, so daß es infolge Einwaschung zu einer Stickstoffanreicherung kam. Die Stickstoffverteilung im Bodenprofil ist in Tabelle 7 enthalten.

Tab. 7: Prozentuelle Verteilung des markierten Stickstoffs (N_t) der Parzellen B, C und D im Boden (nach 48 Tagen)

Bodentiefe cm	B	C	D
0— 3	46,89	58,28	71,53
3—12	6,90	6,02	11,24
12—38	2,20	1,99	1,62
unter 38	0,83	0,47	0,28
Σ	56,82	66,76	84,67

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Der größte Teil des markierten Stickstoffs befand sich wiederum im Wurzelfilz der obersten Bodenschichte bis zu 3 cm. Von da ab nahm der Stickstoffgehalt rasch ab und betrug unterhalb von 38 cm nur mehr weniger als 1% der aufgebrachten Düngermenge.

Die Verteilung des Stickstoffs im Boden und Pflanzenbestand zeigte nach 78 Tagen ein gleichmäßiges Bild (Tab. 8). Der ^{15}N-Anteil des Aufwuchses lag zwischen 12,58 und 19,80%. Im Boden wurden 66,32—83,90% wiedergefunden, die Verluste betrugen 2,61—16,92%.

Tab. 8: Stickstoffbilanz der Parzellen B, C und D nach 78 Tagen. Verteilung in %.

N-Verteilung	B	C	D
Pflanze	12,58	19,80	13,49
Boden	70,50	66,32	83,90
Verlust	16,92	13,88	2,61

Die Verteilung des Düngerstickstoffs im Boden (Tab. 9) zeigte gegenüber der ersten Probenahme (Tab. 7) keine wesentlichen Veränderungen. Die geringfügigen Schwankungen in den N-Werten sind wohl auf die Inhomogenität der Bodenproben zurückzuführen.

Tab. 9: Prozentuelle Verteilung des markierten Stickstoffs (N_t) der Parzellen B, C und D im Boden (nach 78 Tagen)

Bodentiefe cm	B	C	D
0— 3	63,08	58,56	73,78
3—12	5,52	6,56	8,51
12—38	1,59	1,08	1,32
unter 38	0,31	0,12	0,29
Σ	70,50	66,32	83,90

Stickstoffeinwaschung mit den Niederschlägen.

Die Analyse des Regenwassers ergab die in der Tabelle 10 enthaltenen Werte.

Die Tabelle zeigt, daß der Gehalt an NH_4-N im Regenwasser größer ist als an NO_3-N. Die Menge an Stickstoff, die mit dem Regen eingewaschen wurde, hing hauptsächlich von der Gesamtniederschlagsmenge ab. Mit den geringeren Regenfällen im September ging auch die Stickstoffzufuhr zurück.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 10: Stickstoffgehalte im Regenwasser

Monat	NS mm	NH_4-N ppm	NO_3-N ppm	NH_4-N kg/ha	NO_3-N kg/ha	N_t kg/ha
			1975			
Juni	101	0,420	0,364	0,42	0,37	0,79
Juli	137	0,469	0,140	0,64	0,19	0,83
August	147	0,392	0,070	0,57	0,10	0,67
September	62	0,504	0,098	0,31	0,06	0,37
			1976			
Juli	188	0,463	1,946*	0,87	—	—
August	140	0,427	0,357	0,60	0,49	1,09
September	108	0,217	0,154	0,23	0,17	0,40

* Probe vom Totalisator ergab zu hohen Wert

Diskussion

Die Stickstoffdynamik des Hochgebirgsbodens beim Wallackhaus kann durch zwei Prozesse charakterisiert werden: Eine rasch ablaufende Einbauphase, in der zugeführter mineralischer Stickstoff hauptsächlich in die Wurzelmasse des Pflanzenbestandes eingebaut und organisch gebunden wird, und die daran anschließende stationäre Phase, die keine weiteren großen Veränderungen in den einzelnen Stickstofffraktionen des Bodens erkennen läßt. Diese Stabilität wird aus dem Vergleich der Tabelle 4 mit 2 ersichtlich. Es zeigte sich, daß die Menge an markiertem Stickstoff im Boden 322 Tage nach Versuchsbeginn gegenüber dem Zeitpunkt 49 Tage nach Versuchsbeginn praktisch gleich geblieben ist. Die lang andauernde Frostperiode in 2300 m Seehöhe läßt von vornherein Umsetzungsvorgänge im Boden nur in beschränktem Ausmaße zu.

In langjährigen Gefäßversuchen konnte Jansson (1963) erste Abschätzungen für die Halbwertszeit des organisch gebundenen Bodenstickstoffs erstellen. Wurden den Berechnungen die Entzugszahlen zugrunde gelegt, so ergaben sich Halbwertszeiten zwischen 20—29 Jahre; wurden die Mineralisationsraten (= Entzugszahlen × 1,35) herangezogen, so betrugen die Halbwertszeiten nur mehr zwischen 15—22 Jahre. In einer späteren Arbeit wies Jansson (1971) jedoch darauf hin, daß die Halbwertszeit für organisch gebundenen Stickstoff mindestens mit 40—50 Jahren anzusetzen ist. In alpinen Gebieten, wo die Möglichkeiten für biologische Umsetzungen wesentlich geringer sind, muß daher mit bedeutend längeren Halbwertszeiten gerechnet werden.

Das Wachstum des Pflanzenbestandes ist auf den im Rahmen der Mineralisation frei werdenden und mit den Niederschlägen eingewaschenen Stickstoff angewiesen. Die Möglichkeit, daß einige

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Arten von Pflanzen und Mikroorganismen Stickstoff binden und somit wesentlich zur Verbesserung der Stickstoffbilanz des Bodens beitragen, ist auch in Betracht zu ziehen. Die Klärung dieser Frage bleibt jedoch einer eigenen Arbeit vorbehalten.

Zusammenfassung

Die Stickstoffdynamik des Hochgebirgsbodens am Standort Wallackhaus (2300 m) wurde durch Einsatz von stabilem Stickstoff (N-15) untersucht. Es konnten zwei Prozesse ermittelt werden. Eine rasch ablaufende Einbauphase von mineralischem Stickstoff in die organische Substanz (Wurzelfilz), wenn der Stickstoff während der Wachstumsperiode der Pflanzen (Sommermonate) verabreicht wurde. Daran schloß sich die stationäre Phase, die keine wesentlichen Umsetzungen in den Stickstofffraktionen des Bodens erkennen ließ. Diesen Zustand zeigten die Ergebnisse der Gesamtbilanzen auf. Die Größe der Stickstoffaufnahme durch die oberirdische Pflanze hing davon ab, zu welchem Zeitpunkt der Wachstumsperiode der Stickstoff verabreicht worden war.

Wurde der Stickstoff zu Beginn der Wachstumsperiode (Juni) verabreicht, so fanden sich 78 Tage später 15,3% in den oberirdischen Pflanzenteilen; 73,6% verblieben im Boden, der Verlust betrug 11,1%.

Wurde der Stickstoff gegen Ende der Wachstumsperiode (August) verabreicht, so wurden 49 Tage später in den oberirdischen Pflanzenteilen nur 1,7% vorgefunden; im Boden befanden sich 83,9% und der Verlust betrug 14,4%. Nach insgesamt 322 Tagen zeigten sich nur geringfügige Veränderungen. 3,7% des verabreichten Stickstoffs befanden sich in der oberirdischen Pflanze, 80,2% im Boden, der Verlust betrug 16,1%.

Die Stickstoffzufuhr (NO_3-N+NH_4-N) über die Niederschläge betrug in den Sommermonaten rund 0,7 kg N/ha/Monat.

Literatur

Aldig, R.: Verfügbarkeit des Stickstoffs in Ackerböden. Bestimmungsprobleme aus der Sicht der Umverteilung der Stickstoffbindungsformen durch Bebrütung. Landw. Forschung 32/I. Sonderheft, XXX: 91–99, 1976.

Becking, J. H.: Nitrogen fixation by non-leguminous plants. Stikstof No. 12, 47–74, 1968.

Bremner, J. M.: Total Nitrogen, Inorganic Forms of Nitrogen, Organic Forms of Nitrogen, p. 1149–1254 in: Methods of Soil Analysis II, 1965. C. A. Black Editor Amer. Soc. Agron., Madis. Wisc. USA.

FINK, A.: Pflanzenernährung in Stichworten. 200 S., 1969, Vlg. Ferdinand Hirt, Kiel.

FRISSEL, M.: Nitrogen. An essential life factor and a potential harzard for the environment. ESNA publication 1—17, I. T. A. L. P. O. Box 48 Wageningen, Niederlande.

HAUNOLD, E.: Stickstoffdynamik von Hochgebirgsböden. Sber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 184, 6. bis 7. Heft, S. 121—122, 1975.

HOFFMANN, G.: Die Versickerung von Wasser und Nährstoffen in 3 verschiedenen Bodenarten nach Messungen am Lysimeter des Agrikulturchemischen Instituts in Weihenstephan. Bayer. Landw. Jb. 44 Sonderh. 3, 258—263, 1967.

HÜSER, R.: Zur mikrobiologischen Luftstickstoffbindung in Buchenstreu und Buchenmull. Plant & Soil XXIII, 236—246, 1965.

— Stickstoffeinnahmen von Waldökosystemen durch Niederschläge. Z. Pflanzenern. Bodenk. 129, 42—50, 1971.

JANSSON, S. L.: Balance sheet and residual effects of fertilizer nitrogen in a 6 year study with ^{15}N. Soil Science 95, 31—37, 1963.

— Use of ^{15}N in Studies of soil nitrogen. In: Soil Biochemistry Vol. 2, 129—166, 1973, A. D. McLaren & S. Skujins Editors, Marcel Dekker Inc., N. Y.

NUTMAN, P. S.: "Symbiotic Nitrogen fixation", Soil Nitrogen Agronomy 10, 360, 1965, Am. Soc. Agron., Madis. Wise. USA.

RIEHM, H.: Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe im Regenwasser und in der Luft unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffverbindungen. Agrochemica V, 174—188, 1961.

WEISS, E.: Bericht über die Vorarbeiten und den Meßbeginn im Projektteil „Meteorologie" des MaB-Hochgebirgsprogramms. Das österreichische MaB-Hochgebirgsprogramm. Arbeitsgebiet Hohe Tauern. Sber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 184, 103—111, 1975.

ZÖTTL, H. W.: Die Nachlieferung von Stickstoff aus dem Bodenvorrat. Stikstof No. 12, 8—16, 1968.